

# 제 출 문

극지연구소장 귀하

본 보고서를 “남극대륙에 기록된 지구진화 연구를 위한 기획연구” 과제의 위탁연구 “남극대륙에 기록된 지구진화 연구를 위한 기획연구” 과제의 최종보고서로 제출합니다.



2018. 4.

(본과제) 총괄연구책임자	:	우 주 선
위탁연구기관명	:	경상대학교
위탁연구책임자	:	손 영 관
위탁참여연구원	:	이 재 혁
	:	“ 김 지 수
	:	“ 손 찬 우



# 요 약 문

## I. 제 목

- 남극대륙에 기록된 지구진화 연구를 위한 기획연구

## II. 연구개발의 목적 및 필요성

- 남극대륙 지질/운석 연구를 선도하기 위한 마스터플랜 수립
- 연구결과 활용방안 도출 기획

## III. 연구개발의 내용 및 범위

- 남극 장보고기지 주변 주요 지질현장 조사 지역 답사
- 남극 신생대 화산층서 및 화산퇴적작용 리뷰

## IV. 연구개발결과

- 남극의 신생대 화산층서와 멜버른 화산지대 층서 리뷰
- 멜버른 화산 분화특성 및 운반/퇴적작용 연구계획 수립

## V. 연구개발결과의 활용계획

- 장보고기지기반 남극대륙연구를 심화하는 과제 도출
- 남극대륙에 기록된 지구의 진화과정 및 고환경 복원

# S U M M A R Y

## (영 문 요 약 문)

### I. Title

- Research planning for the study of Earth evolution recorded in the Antarctic continent

### II. Purpose and Necessity of R&D

- Establish the master plan to advance the study of geology/meteorite in Antarctic continent
- Derivation of application plan of research result

### III. Contents and Extent of R&D

- Field survey of major geological formations around the Antarctic Jangbogo Base
- Review of Cenozoic volcano stratigraphy and volcanoclastic sedimentary processes in Antarctica

### IV. R&D Results

- Review of Cenozoic volcano stratigraphy in Melbourne Volcanic Field, Antarctica
- Establish research plan for a study of eruptive, transport, and deposition processes of Melbourne volcanic field

### V. Application Plans of R&D Results

- Derive research project to deepen Antarctic research based in Jangbogo Base
- Reconstruct the evolution of the earth's paleoenvironment recorded in the Antarctic continent

# 목 차

제 1 장 서론	6
제 2 장 연구개발수행 내용 및 결과	7
제 3 장 연구개발목표 달성도 및 대외기여도	16
제 4 장 연구개발결과의 활용계획	17
제 5 장 연구개발과정에서 수집한 해외과학기술정보	18
제 6 장 참고문헌	20

## 제 1 장 서론

- 최종목표

<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 남극대륙 지질/운석 연구를 선도하기 위한 마스터플랜 수립</li> <li>○ 연구결과 활용방안 도출 기획</li> </ul>
--

- 1차년도(2017) 목표

구분	연구 목표	연구 내용
1차년도 (2017)	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 기수행 과제의 연구결과 리뷰 및 예상 최종연구결과 도출</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 워크숍 개최, 연구분야별 면담, 전문가 리뷰를 통해 현재 수행중인 과제의 연구내용과 최종 연구결과 예상치 도출</li> <li>- 남극 지질 분야 국외전문가 초청을 통한 국외 연구동향 파악 및 집중연구과제 선정에 대한 자문</li> <li>- 기 수행과제 연구결과의 수월성, 시의성, 연구의 지속가능성 평가</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 남극 연구의 국내외 연구 개발 동향 및 환경분석</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 남극 지질 분야 국외전문가 초청을 통한 국외 연구동향 파악 및 집중연구과제 선정에 대한 자문</li> <li>- 정책동향 및 국제 조약 동향 분석</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 남극 장보고기지 주변 주요 지질현장 조사 지역 답사</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 장보고기지 주변 화산, 고생대 퇴적분지, 변성암, 중생대 퇴적암/화산암, 운석 탐사지에 대한 현장조사</li> <li>- 남극대륙 현장조사를 통해 중점연구주제수행을 위한 현장 지원체계 및 실현 가능성 점검</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 중점 연구과제 선정 및 추진체계/수행 로드맵 도출</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 기수행 연구과제 결과 리뷰, 남극 지질 연구에 있어서의 시의성, 현장조사 가능성, 정책연계성 등을 종합하여 심화 확대할 연구주제와 성과목표 선정</li> <li>- 성과목표 달성을 위한 협동연구, 국제협력 체계 및 추진 로드맵 수립</li> <li>- 연구수행을 위한 예산을 포함한 연구계획안 작성</li> <li>- 도출한 연구과제로부터 예상되는 연구결과의 활용방안 및 파급효과 분석</li> </ul>

## 제 2 장 연구개발수행 내용 및 결과

### 2.1. 남극의 신생대 화산층서 리뷰

#### 2.1.1. 지질개요

남극의 신생대 후기 화산들은 맥머도화산층군(McMurdo Volcanic Group)으로 명명되어 있다. 이 화산들은 판내부(intraplate) 화산들로서 서남극열곡계(West Antarctic Rift System)와 같은 열곡대와 관련되어 형성되었다(Behrendt, 1999). 이 화산들은 대체로 알칼리 마그마 계열의 화산들로서 현무암에서 포놀라이트 및 조면암의 조성을 지니며 비폭발적인 분출이 우세하였으나 마그마-빙하 상호작용이 있었거나 진화한 마그마가 분출한 경우에는 폭발적인 분출도 발생하였다. 맥머도화산층군의 화산들은 분석구와 같은 단성화산과 용암류 그리고 이들에 비해 규모가 큰 순상화산 및 성층화산들로 이루어져 있다(LeMasurier & Thomson, 1990). 성층화산들은 상대적으로 더 진화한 조면암 및 포놀라이트로 이루어져 있다. 현세에 플리니형(Plinian) 분출을 일으켰거나 향후 폭발적으로 분출할 가능성이 있는 화산으로는 Mt. Takahe, Mt. Berlin, Mt. Melbourne, Mt. Rittman가 있다(LeMasurier & Thomson, 1990).

맥머도화산층군은 화산들의 공간적 분포, 지구조환경, 그리고 암석학적 특징에 따라 북에서 남으로 Hallett, Melbourne, 그리고 Erebus 화산구(volcanic province)로 나뉘어진다고(Kyle & Cole, 1974). 멜버른 화산구/화산지대는 남극횡단산맥-로스해 분지 시스템의 transtensional한 지구조 진화와 관련하여 만들어진 것으로 해석되고 있다(Salvini et al., 1997; Rossetti et al., 2000). 멜버른 화산지대는 남극횡단산맥을 가로지르는 북동 방향의 우수향 주향이동단층과 로스해 분지의 남북 방향 정단층과 관련하여 형성되었다(Rossetti et al., 2000). 멜버른 화산지대에는 조면암질 암석으로 이루어진 몇 개의 커다란 성층화산이 나타나며, 주요 화산들로는 Malta Plateau, The Pleiades, Mount Overlord, Mount Melbourne이 있다. 멜버른 화산지대의 화성 활동은 로스해 분지의 확장과 관련하여 50 Ma경부터 시작되었으며, 단층대가 재활성된 30 Ma 이후 활동이 증가하였다.

멜버른 화산(Mount Melbourne)은 Wilson Terrane에 포함된 선캠브리아-오르도비스기의 관입 및 변성 기반암 위에 형성되었다. 암석들은 바사나이트, 알칼리현무암, 하와이아이트, 조면암의 조성을 지니고 있으며, 육상 및 수저/빙하저 환경에서 일어난 폭발적/비폭발적 분출에 의해 형성되었다(Worner & Viereck, 1989). 화산암의 연대측정 결과 멜버른 화산 북쪽의 단성화산들은 마이오세-플라이오세(12~3 Ma; Armienti et al., 1991)의 연대를, 화산 남쪽의 Cape Washington 순상현무암은 2.7~1.67 Ma의 연대를, 멜버른 화산과 그 이외의 단성화산들은 모두 제4기의 연대

를 지니고 있는 것으로 확인되었다(Kyle, 1990).

## 2.1.2. 멜버른 화산지대의 층서와 연대

### 1. 케이프 워싱턴 현무암질 순상화산(Cape Washington basaltic shield)

2.7-1.67 Ma의 연대가 얻어졌으며 가장 오래된 화산암층으로 간주된다.

### 2. Random Hills 지역의 단성화산군

멜버른 화산 북쪽에 분석구와 용암(알칼리현무암에서 하와이아이트질)으로 주로 구성된 일련의 단성화산들로서 Random Hills, Pinkard Table, Harrow Peaks 그리고 명명되지 않은 여러 화산체를 포함한다. 대부분 대기하(subaerial) 환경에서 스트롬볼리형 분출로 이루어진 화산체들로 보인다. 하지만 Harrow Peaks의 경우 lava plug, megapillow 구조, 기반암편(화강암)을 포함하는 황갈색의 현무암질 응회암이 보고되어(Giordano et al. 2012) 부분적으로 수증기-마그마성 분출도 있었던 것으로 보인다.

### 3. 멜버른 화산 주변의 단성화산군

멜버른 화산으로부터 10~25 km 주변에는 Baker Rocks, Shield Nunatak, Oscar Point, Markham Island 등의 단성화산군이 나타난다. 이 화산들은 모두 알칼리현무암질의 조성을 지닌다. 이 중 Baker Rocks, Shield Nunatak, 그리고 Oscar Point 서쪽의 해안절벽은 황갈색의 현무암질 응회암이 주요 암상으로 나타나며 그 내부에는 불규칙한 형태의 암맥과 관입암체(apophyses)들이 나타나고 상부에는 분석구와 용암류가 나타나는 특징을 보인다. 이 화산들은 빙하저 또는 수저환경에서 일어난 수증기-마그마성 화산분출에 의해 만들어졌으며, 분출 후기에 마그마성 화산활동을 일으켜 분석구와 용암이 만들어진 것으로 해석된다(Worner and Viereck, 1989). Markham Island는 현무암질 용암과 적색의 분석이 중첩되어 있으며 분석구의 화구를 채웠던 화산암경(volcanic neck)으로 보인다.

### 4. 에드몬슨 포인트 조면암질 화쇄류암(Edmonson Point trachytic ignimbrite: EPI)

EPI는 최소 두께 30m 이상의 조면암질 화쇄류암으로서, 세계의 세부단위로 구성된다.

- i. 하부단위는 두께 15m의 백색 부석편이 풍부하며 화산회 기질에 지지되어 있는 괴상의 단위로 이질암편을 다량(10~20%) 포함한다. 조면암편, 현무암편, syenite 암편, 기반암 기원의 편마암편으로 이루어진 렌즈상의 각력암이 하부에 협재되어 있다.
- ii. 중부단위는 두께 2m의 분급이 양호하며 관상층리 및 저각도 사층리를 보이는 부석질 화산력응회암(lapilli tuff)으로서 화쇄난류(pyroclastic surge) 기원으로 층으로 해석된다.
- iii. 상부단위는 두께 13m로 흑색 부석편이 풍부한 반면 이질암편이 적으며 화산회 기질에 지지되어 있는 괴상의 단위이며, 부석은 spatter의 형태를 띤다.

EPI는 기존에 스트롬볼리형 또는 아-플리니형(subplinian) 분출 기원의 부석이 화구 주변에 낙하하여 쌓인 층으로 해석되었으나(Worner & Viereck, 1989; Worner & Orsi, 1990) Giordano et al. (2012)는 이를 칼데라 형성과 관련된 플리니형 분출의 산물로 재해석하였다.

## 5. 멜버른 화산 용암류

멜버른 화산체를 이룬 화산암은 하부의 Adelie Penguin Rookery lava와 그 상부의 Ropy basaltic lava plateau만이 제대로 정의되어 있으며 그 상부의 화산암들은 눈에 피복되어 있어 층서와 암상이 불분명하다.

- i. Adelie Penguin Rookery lava (ARL): ARL은 Edmonson Point에서 관찰되며 EPI를 관입한 암맥과 함께 나타난다. ARL의 기저부는 노출되지 않아 실제 두께는 알 수 없으나 노두상 두께는 최대 550m에 이른다. 용암은 유리질이 고 방사상의 주상절리를 잘 보이며 각력질 부분을 포함하고 megapillow와 tube의 형태를 띤다. 용암의 상하부는 자가각력암(autobreccias)으로 피복되어 있으며 부분적으로 밧줄구조(ropy structure)를 보인다(Giordano et al., 2012). 일부 지역에서는 용암이 분석구와 spatter 기원의 집괴암으로 전이해 간다. 용암의 조성은 하와이아이트(hawaiite)이나 국부적으로 벤모라이트(benmorite)나 조면암 조성의 용암이 나타나기도 한다(Giordano et al., 2012). 용암 하부에서 응회구(Edmonson Point Tuff Cone)가 관찰되기도 한다.
- ii. Ropy basaltic lava plateau (ROL): ARL은 두께 50 m 이상의 알칼리현무암질 용암과 그 사이에 협재된 각력층(주로 autobreccia)에 의해 피복되어 있다. 이 현무암은 해발고도 400~600 m 사이에 뚜렷한 대지를 이루고 있다. 최상부 용암 표면에는 새끼구조(ropy structure)가 뚜렷하여 대기 하 용암류를 지시한다. 하부 ARL과의 접촉부는 노출되어 있지 않지만 부정합적인 경계를 지닌 것으로 추정된다.

- iii. Hawaiite scoria cone: ROL 위로는 식박되지 않은 분석구가 해발 723 m 고도까지 솟아있다. 이 분석구는 배사형 경사(quaquaversal dip)를 지니며 20~30 m 두께의 용암이 협재되어 있다. 정상부에는 스파터와 화산탄이 나타난다.

## 6. 정상부와 최근 분출물

멜버른 화산의 정상부는 10~70 cm 두께의 검은 화산력과 화산탄 그리고 이질암편으로 피복되어 있다. 시대는 미상이나 최근의 분출물로 추정된다. 화산쇄설물은 조면암질에서 유문암질의 조성을 갖는다. 그 아래로는 15 m의 두께를 갖는 부석층이 있다. 역지되어 있고 화산화 기질이 없는 점 등으로 볼 때 낙하 기원 층으로 보인다. 열수변질을 받아 황색 또는 적색을 보이는 화산쇄설층도 절벽에서 관찰된다.

멜버른 산 주변의 만년설에서는 두께가 3 cm이며 기공함량이 60% 이상인 조면암질 부석 테프라층이 나타난다.



## 2.2. 멜버른 화산 분화특성 및 운반/퇴적작용 연구계획 수립

### 2.2.1. 연구의 필요성

#### 가. 소형(단성) 화산 분화 특성 및 화산 물질 운반 퇴적 기작 연구

- 남극 빅토리아랜드에 위치한 멜버른 화산지대(Melbourne Volcanic Field)에는 해발고도 약 2,700m의 성층화산(stratovolcano)인 멜버른산(Mt. Melbourne)을 중심으로 다양한 규모, 시기, 암상의 소규모 화산들이 분포함(그림 1)
- Giordano et al. (2012)에서 제안된 플라이오세 이후 멜버른 화산지대의 화산-조구조 진화 모델(그림 2)에 따르면, Priestly 및 Campbell 단층 시스템들로 대표되는 우수향 주향이동 단층들이 해당 지역 구조 운동을 제어하고 있으며, 주향이동 단층 운동에 수반된 국지적 지각 신장 및 그로 인한 맨틀의 부분용융이 화산 활동의 소스가 됨
- 이 지역에 해당 소형 화산들의 층서 및 활동 연대에 대한 연구에 따르면 남쪽의 Cape Washington의 분화활동이 가장 오래되었으며, 이후 화산지대 북부와 남부의 다발적 소규모 분화 단계를 거쳐 최종적으로 중앙부 멜버른산이 형성되었음

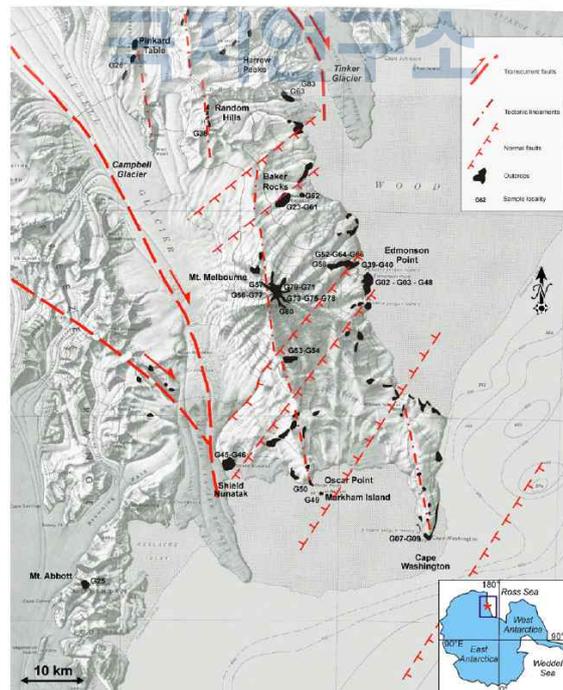


그림 1. 멜버른 화산 지대 지형, 구조, 주요 화산 노두 위치 정보

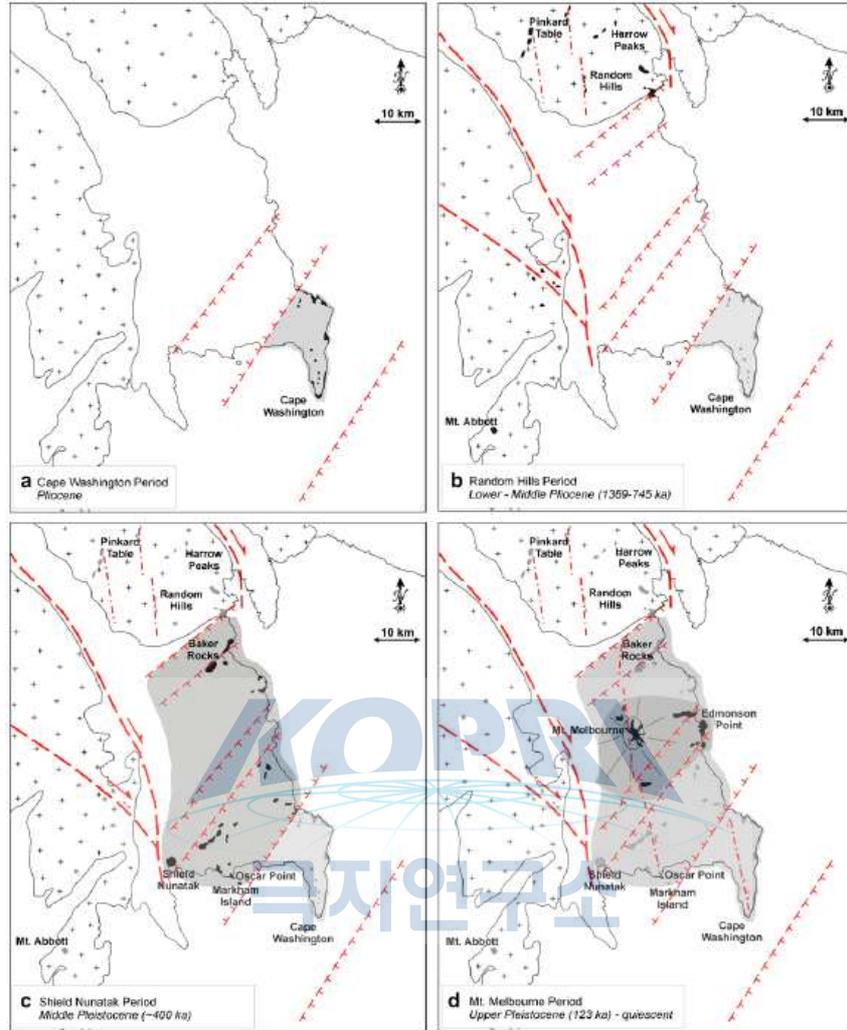


그림 2. 멜버른 화산지대 화산-조구조 진화 복원 모델

- 멜버른 화산지대를 구성하는 소형 화산들은 분화 당시에 존재하던 빙하로 인해 중·저위도 지역 화산들과는 극도로 이질적인 분화 특성 및 화산물질 운반/퇴적 프로세스를 보임
- 이러한 이질성으로 인해 남극 소형 화산들은 그 연구 가치가 매우 높지만 제한적 접근성으로 인해 심도 있는 연구가 드문 실정임
- 북반구 아이슬란드 및 캐나다 브리티시 콜롬비아 지역의 다양한 빙하화산체 (glaciovolcanic edifice)들을 대상으로 수행된 연구들(예: Russel et al., 2014)과 유사한 수준의 화산물질과 빙하의 상호작용에 대한 연구가 남극에서도 이루어질 필요가 있음

## 나. 멜버른 화산 분화 층서 및 부석 조직 연구

- 후기 플라이스토세 이후 멜버른 화산지대의 의 화산활동은 중앙부에 집중되었으며 성층화산인 멜버른산을 형성함



그림 3. 멜버른산 정상 분화구 주변 근위 화산쇄설물 및 분기공 현장 사진

- 현재도 이 멜버른산 최상부에는 매우 활발한 분기공 활동이 관측되며, 정상부 분화구 주변에는 그 층서 및 연대가 정의되지 않은 화산쇄설물 근위 퇴적층이 발달함 (그림 3)
- 이들 화산쇄설층은 멜버른산의 최후기 폭발성 분화 산물로 그 연대 및 층서 체계가 규명되지 않음
- 멜버른산의 최후기 분화 양상, 분화 주기, 폭발 강도 등의 이해를 위해서는 해당 화산쇄설층에 대한 심도 있는 층서/퇴적학적 연구가 필요함
- 멜버른산 정상부의 근위 화산쇄설층 외에도 화산 사면부 및 원위에도 그 층서 및 연대가 규명되지 않은 부석질 테프라층이 빙하에 협재하여 산출됨(그림 4)
- 멜버른산의 최후기 폭발성 분화 활동으로부터 기원된 화산쇄설물의 광역 층서 체계를 구축하고, 화산물질의 운반/퇴적 기작을 이해하기 위해서는 광범위한 테프라층 대비 연구가 필요함
- 화산쇄설물 층서체계 확립 및 운반/퇴적기작 규명은 특정 화산의 미래 분화 가능성 및 화산 재해의 범위를 예측하기 위해 반드시 선행되어야 할 필수적 연구 과정임



그림 4. 멜버른산 사면 빙하 협재 테프라층 항공사진

## 2.2.2. 연구목표 및 방법

### 가. 소형(단성) 화산 분화 특성 및 화산 물질 운반/퇴적 기작 연구

#### a) 연구목표

- 멜버른 화산지대 소형(단성) 화산(Shield Nunatak, Cape Washington, Oscar Point 등)들의 퇴적 구조 해석 및 층서 체계 확립
- 해당 소형 화산들의 분화 특성과 산출된 화산물질(용암류 및 화산쇄설물)의 운반 및 퇴적 과정 규명
- 남극 멜버른 화산지대의 빙하화산작용(glaciovolcanism) 특성 규명

#### b) 연구방법

- 현지 화산 노두 퇴적상 기재 및 분석용 시료 채취
- 입도분석 및 구성 물질 분석
- 전자현미경(SEM) 관찰 및 전자탐침미세분석(EPMA)을 통한 화산물질의 미세 조직 특성 및 암석 지화학 조성 분석

### 나. 멜버른 화산 분화 층서 및 부서 조직 연구

a) 연구목표

- 멜버른 화산의 최후기 폭발성 분화 층서 체계 확립
- 퇴적상 연구를 통해 각각의 폭발성 분화 이벤트들의 분화스타일, 폭발강도, 화산쇄설물 운반/퇴적 기작 규명
- 다공질 화산쇄설물(부석, 분석)의 기공구조 및 화산유리 조직 및 조성 연구를 통해 화도 내 마그마 상승 및 파쇄 과정을 규명

b) 연구방법

- 멜버른산 정상부 및 사면부 화산쇄설층 노두 퇴적상 기재 및 분석용 시료 채취
- 전자현미경(SEM) 관찰 및 컴퓨터단층촬영(CT)을 통한 부석의 기공구조 및 화산유리 조직 분석
- 전자탐침미세분석(EPMA)을 통한 화산 유리 및 미결정의 지화학 특성 파악

## 2.2.2. 기대성과 및 활용방안

- 소형 화산 연구를 통한 남극 고유의 빙하와 화산의 상호 작용에 대한 이해 증진 및 새로운 이론 체계 수립
- 멜버른산에서 확립된 분화층서 체계를 해당화산의 최후기 분화사 복원 및 미래 분화 가능성 타진에 활용
- 화산쇄설물 생성/운반/퇴적 기작 연구로부터 파악된 과거 멜버른산에서 발생한 화산 재해의 특성 및 규모를 미래 화산재해 예측 및 방재의 근거 자료로 활용

## 제 3장 연구개발목표 달성도 및 대외기여도

정성적 성과 :

성과목표	세부목표	평가지표(핵심성과 스펙)	가중치 (%)	달성도 (%)
1. 기획연구 보고서 작성	1-1	기수행 과제의 연구결과 리뷰 - 연구분야별 목표치 대비 달성도와 연구 수준 분석	30	100
	1-2	남극 연구의 국내외 연구개발 동향 및 환경분석 - 이슈분석 및 연구환경 분석 - 정책, 국제조약 등 동향분석	20	
	1-3	마스터플랜 수립 - 핵심연구과제 선정 - 과제추진 체계/수행로드맵 - 예산, 인력 투입 계획	50	

정량적 논문성과 : 해당사항없음

기타 정량적 논문성과 : 해당사항없음

KOPRI  
극지연구소

## 제 5 장 연구개발결과의 활용계획

### □ 장보고기지기반 남극대륙연구를 심화하는 과제 도출

- 약 5억년동안의 남극대륙 환경변화와 맨틀진화를 규명하는 연구 역량 제고
- 남극중단산맥에 노출된 암석에 대한 연구로 얼음 밑에 감추어진 기반암 연구에 기초데이터 제공
- 국내에서는 연구가 불가능한 ‘subglacial volcanism’ 연구기반 및 활화산 관측 기술 확보
- 빅토리아랜드 연구 성과를 확장하기 위한 남극중단산맥 탐사로 남극대륙 연구영역 확대
- 장보고기지 기반 대륙연구과제의 활성화로 국제적 극지연구 선도 기관으로 도약
- 남극지질시료, 남극운석, 남극화석 등 남극에서 획득한 시료를 국내외 연구자들에게 제공하여 공동연구 및 연구협력 확대



## 제 6 장 연구개발과정에서 수집한 해외과학기술정보

### • 연구 기간 중 출간된 남극 화산활동 관련 연구논문 목록

- Berrocso, M., Prates, G., Fernández-Ros, A., Peci, L.M., de Gil, A., Rosado, B., Páez, R. and Jigena, B., 2018. Caldera unrest detected with seawater temperature anomalies at Deception Island, Antarctic Peninsula. *Bulletin of Volcanology*, 80(4).
- De Vries, M.W., Bingham, R.G. and Hein, A.S., 2018. A new volcanic province: An inventory of subglacial volcanoes in West Antarctica, *Geological Society Special Publication*, pp. 231-248.
- Dunbar, N.W., Iverson, N.A., Van Eaton, A.R., Sigl, M., Alloway, B.V., Kurbatov, A.V., Mastin, L.G., McConnell, J.R. and Wilson, C.J.N., 2017. New Zealand supereruption provides time marker for the Last Glacial Maximum in Antarctica. *Scientific Reports*, 7(1).
- Hasenclever, J., Knorr, G., Rüpke, L.H., Köhler, P., Morgan, J., Garofalo, K., Barker, S., Lohmann, G. and Hall, I.R., 2017. Sea level fall during glaciation stabilized atmospheric CO<sub>2</sub> by enhanced volcanic degassing. *Nature Communications*, 8.
- Iverson, N.A., Lieb-Lappen, R., Dunbar, N.W., Obbard, R., Kim, E. and Golden, E., 2017. The first physical evidence of subglacial volcanism under the West Antarctic Ice Sheet. *Scientific Reports*, 7(1).
- Ivy, D.J., Solomon, S., Kinnison, D., Mills, M.J., Schmidt, A. and Neely, R.R., III, 2017. The influence of the Calbuco eruption on the 2015 Antarctic ozone hole in a fully coupled chemistry-climate model. *Geophysical Research Letters*, 44(5): 2556-2561.
- Kharin, G.S. and Eroshenko, D.V., 2017. Explosive volcanism and the geological history of the Antarctic Atlantic. *Journal of Volcanology and Seismology*, 11(2): 123-135.
- Koffman, B.G., Dowd, E.G., Osterberg, E.C., Ferris, D.G., Hartman, L.H., Wheatley, S.D., Kurbatov, A.V., Wong, G.J., Markle, B.R., Dunbar, N.W., Kreutz, K.J. and Yates, M., 2017. Rapid transport of ash and sulfate from the 2011 Puyehue-Cordón Caulle (Chile) eruption to West Antarctica. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 122(16): 8908-8920.
- LeMasurier, W., Choi, S.H., Kawachi, Y., Mukasa, S. and Rogers, N., 2018. Dual origins for pantellerites, and other puzzles, at Mount Takahe volcano, Marie Byrd Land, West Antarctica. *Lithos*, 296-299: 142-162.

- Narcisi, B., Petit, J.R. and Langone, A., 2017. Last glacial tephra layers in the Talos Dome ice core (peripheral East Antarctic Plateau), with implications for chronostratigraphic correlations and regional volcanic history. *Quaternary Science Reviews*, 165: 111-126.
- Roberts, S.J., Monien, P., Foster, L.C., Loftfield, J., Hocking, E.P., Schnetger, B., Pearson, E.J., Juggins, S., Fretwell, P., Ireland, L., Ochyra, R., Haworth, A.R., Allen, C.S., Moreton, S.G., Davies, S.J., Brumsack, H.J., Bentley, M.J. and Hodgson, D.A., 2017. Past penguin colony responses to explosive volcanism on the Antarctic Peninsula. *Nature Communications*, 8.
- Zanutta, A., Negusini, M., Vittuari, L., Cianfarra, P., Salvini, F., Mancini, F., Sterzai, P., Dubbini, M., Galeandro, A. and Capra, A., 2017. Monitoring geodynamic activity in the Victoria Land, East Antarctica: Evidence from GNSS measurements. *Journal of Geodynamics*, 110: 31-42.
- Zheng, G., Liu, X., Zhao, Y., Wang, W. and Chen, L., 2017. Mid-cretaceous volcano-magmatism in the Curverville Island of the Antarctic Peninsula and its tectonic significance: Constraints from zircon U-Pb geochronology and Hf isotopic compositions. *Yanshi Xuebao/Acta Petrologica Sinica*, 33(3): 978-992.



## 제 7 장 참고문헌

- Armienti, P., Civetta, L., Innocenti, F., Manetti, P., Tripodo, A., Villari, L. and Vita, G., 1991. New petrological and geochemical data on Mt. Melbourne Volcanic Field, Northern Victoria Land, Antarctica. (II Italian Antarctic Expedition). *Memorie Della Società Geologica Italiana*, 46: 397-424.
- Behrendt, J.C., 1999. Crustal and lithospheric structure of the west Antarctic Rift System from geophysical investigations - A review. *Global and Planetary Change*, 23(1-4): 25-44.
- Giordano, G., & Lucci, F. (2016). Stratigraphy, geochronology and evolution of the Mt. Melbourne volcanic field (North Victoria Land, Antarctica). In EGU General Assembly Conference Abstracts (Vol. 18, p. 17546).
- Giordano, G., Lucci, F., Phillips, D., Cozzupoli, D. and Runci, V., 2012. Stratigraphy, geochronology and evolution of the Mt. Melbourne volcanic field (North Victoria Land, Antarctica). *Bulletin of Volcanology*, 74: 1985-2005.
- Kyle, P.R. and Cole, J.W., 1974. Structural control of volcanism in the McMurdo Volcanic Group, Antarctica. *Bulletin Volcanologique*, 38(1): 16-25.
- Kyle, P.R., 1990. McMurdo Volcanic Group, Western Ross Embayment. *Volcanoes of the Antarctic Plate and Southern Oceans*, 48: 19-25.
- LeMasurier, W.E. and Thomson, J.W., 1990. Volcanoes of the Antarctic Plate and Southern Oceans. *Antarctic Research Series*, 48.
- Rossetti, F., Storti, F. and Salvini, F., 2000. Cenozoic noncoaxial transtension along the Western shoulder of the Ross Sea, Antarctica, and the emplacement of McMurdo dyke arrays. *Terra Nova*, 12(2): 60-66.
- Russell, J. K., Edwards, B. R., Porritt, L., & Ryane, C. (2014). Tuyas: a descriptive genetic classification. *Quaternary Science Reviews*, 87, 70-81.
- Salvini, F., Brancolini, G., Buseti, M., Storti, F., Mazzarini, F. and Coren, F., 1997. Cenozoic geodynamics of the Ross Sea region, Antarctica: Crustal extension, intraplate strike-slip faulting, and tectonic inheritance. *Journal of Geophysical Research B: Solid Earth*, 102(11): 24669-24696.
- Wörner, G. and Orsi, G., 1990. Volcanic geology of Edmonson Point, Mt. Melbourne Volcanic Field, North Victoria Land, Antarctica. *Polarforschung*, 60(2): 84-86.
- Wörner, G. and Viereck, L., 1989. The Mt Melbourne volcanic field (Victoria land, Antarctica) I. Field observations. *Geologisches Jahrbuch*, E38: 369-393.

## 주 의

1. 이 보고서는 극지연구소 위탁과제 연구결과보고서입니다.
2. 이 보고서 내용을 발표할 때에는 반드시 극지연구소에서 위탁연구과제로 수행한 연구결과임을 밝혀야 합니다.
3. 국가과학기술 기밀유지에 필요한 내용은 대외적으로 발표 또는 공개하여서는 안됩니다.